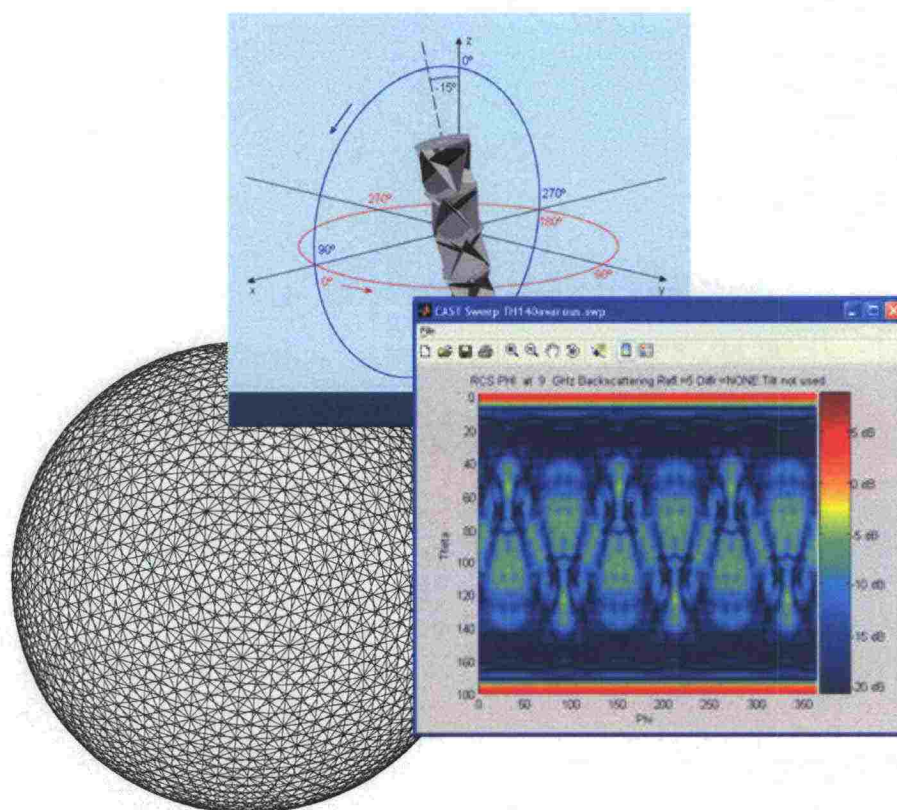


# KELLUVISSA TURVALAITTEISSA KÄYTETTÄVIEN TUTKAHEIJASTIMIEN LASKENTA JA MITTAUS

**Muoviteollisuus Ry:n viittastandardin liite 1.**




**Merenkululaitos**

Helsinki 2005

ISSN 1456 - 9442



Tekijät (toimielimestä: toimielimen nimi, puheenjohtaja, sihteeri)		Julkaisun laji	
MKL Väylänpito/väylätekkinen yksikkö		Merenkululaitoksen sisäisiä julkaisuja 3/2005	
Väylätekkinen yksikkö / Risto Joro		Toimeksiantaja	
		MKL sisäinen tuotanto/viittatehdas, J-P Ollaranta	
Muoviteollisuuden viittastandardin LIITE 1		Toimielimen asettamispäivämäärä	
		11.01.2005	
Julkaisun nimi			
Kelluvissa turvalaitteissa käytettävien tutkaheijastimien laskenta ja mittaust			
Tiivistelmä			
<p>Muoviputkiviitat sekä -poijut ovat tutkaheijastimella varustettuja kelluvia merenkulun turvalaitteita. Näiden turvalaitteiden tehtävänä on auttaa merenkulkijaa väylän navigoinnissa sekä visuaaliseen että tutkahavaintoon perustuen. Viittojen ja poijujen merkitys merenkulun turvallisuuteen on merkittävä. Viittojen tutkaheijastimina käytetään kolmiosoppeja niiden tuottaman suurimman RCS –vasteen johdosta. Soppimateriaalina käytetään tyypillisesti terästä sen soveliaan dielektrisyysvakion johdosta.</p> <p>Heijastimien tutkavasteet voidaan mitata radiokaiuttomassa huoneessa, jolloin mm. monitie-eteneminen, häilyntä, ilmakehävaimennus sekä meriaallokon vaikutus täytyy arvioida. Todellista olosuhdetta lähelle päästään erityisesti tutkapoikkipinta-alan laskentaa/-määrittystä varten tarkoitettujen ohjelmistojen avulla sekä ns. vertailumittauksilla merellisessä ympäristössä.</p> <p>Tämä julkaisu liittyy Merenkululaitoksen viittatehtaan yhdessä Muoviteollisuus Ry:n kanssa laatimaan viittastandardiin. Standardi on tarkoitettu meriviittojen ja poijuviittojen ominaisuuksien, vaatimusten ja tarkastusten yhdenmukaistamiseen. Standardin tässä liitteessä kuvataan tutkaheijastimien rakennetta ja tutkapoikkipinta-alaa kuvaavat suureet. Erityisesti keskitytään tarkkaan kuvaukseen vaatimuksista tutkasoppien tutkapoikkipinta-arvoille sekä laskentaperiaatteiden reunaehdoille. Laskenta tulosten varmentaminen jo lasketun mallin mukaan, kuvataan tässä dokumentissa</p> <p>Standardin liite kuvaa viimeisenä monimutkaisen ja työlään vertailumittauksen merellisessä ympäristössä tutkasoppien tehokkuuden varmentamiseksi ja mittaamiseksi.</p>			
<div style="text-align: right;">08 MKL</div> 			
Avainsanat (asiasanat)			
Tutkapoikkipinta-ala, tutkasoppi, sironta.			
Muut tiedot			
Sarjan nimi ja numero		ISSN	ISBN
Merenkululaitoksen julkaisuja 03/2005		1456 - 9442	
Kokonaissivumäärä	Kieli	Hinta	Luottamuksellisuus
2 + 8	Suomi		
Jakaja	Kustantaja		



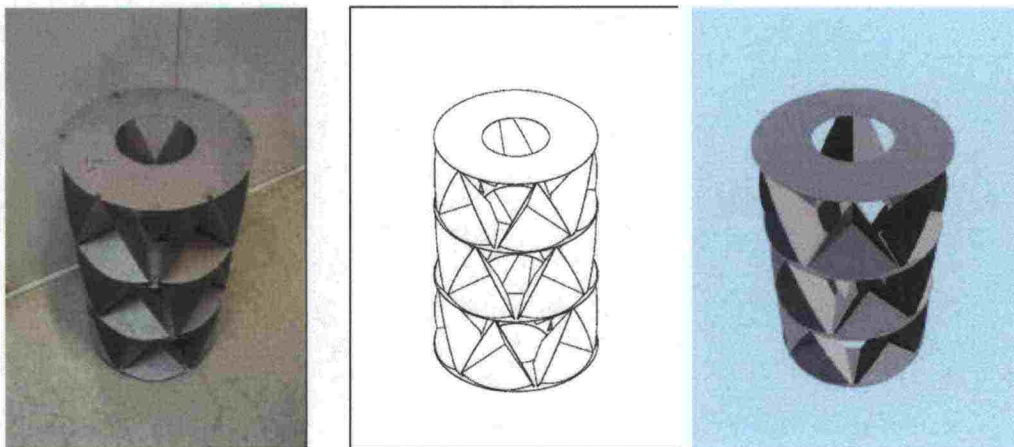
# KELLUVISSA TURVALAITTEISSA KÄYTETTÄVIEN TUTKAHEIJASTIMIEN LASKENTA JA MITTAUS

## 1 YLEISTÄ

Muoviputkiviitat sekä -poijut ovat tutkaheijastimella varustettuja kelluvia merenkulun turvalaitteita. Niiden tehtävänä on auttaa merenkulkijaa väylän navigoinnissa niin visuaalisesti kuin tutkahavaintoon perustuen. Viittojen ja poijujen merkitys merenkulun turvallisuudelle on merkittävä.

Muoviputkiviitoissa ja -poijuissa käytettävien tutkaheijastimen tehtävänä on tuottaa valaisevan tutkan keilaussuuntaan mahdollisimman suuri tutkapoikkipinta-ala (radar cross section, RCS). Se saadaan kohteeseen saapuneen ja siitä sironneen tehon suhteesta. Se energiamäärä, joka heijastuu/siroaa kohteesta, riippuu tutkaheijastimen asennosta, muodosta, materiaalivalinnoista, tutka-aallon polarisaatiosta sekä taajuudesta. Merellisessä ympäristössä edellisten lisäksi tutkapoikkipinta-alaan vaikuttaa erityisen voimakkaasti tutka-aaltojen monitie-eteneminen. Se tarkoittaa eri heijastusreittejä etenevien tutka-aaltojen yhteisvaikutusta. Tutka-aallot voivat vaimentaa tai vahvistaa toisiaan riippuen niiden vaiheesta vastaanottohetkellä. Tutkapoikkipinta-alaan vaikuttaa myös valaisevan tutkan (laivan) tai kohteen heilunnan aikaansaama häilyntyä.

Tutkapoikkipinta-alalle on tyypillistä, että se voi vaihdella suurilla kohteilla tuhatkertaisesti asteen matkalla. Tästä syystä tutkapoikkipinta-ala esitetään logaritmisesti laskien kaavalla  $10 \log_{10} (X)$ , tällöin yksikkönä käytetään [dBm<sup>2</sup>] tai [dBsm].



Kuva 1. Esimerkkejä erään viittatyypin tutkasoppi ryhmistä.

Tutkaheijastimina käytetään kolmiosoppeja niiden tuottaman suurimman RCS-vasteen johdosta. Soppimateriaalina käytetään tyypillisesti terästä sen soveliaan materiaaliominaisuuksien johdosta.

Vasteet voidaan mitata radiokaiuttomassa huoneessa. Tällöin mm. monitie-eteneminen, häilyntä, ilmakehävaimennus sekä meriaallokon vaikutus täytyy huomioida erikseen. Todellista olosuhdetta lähelle päästään erityisesti tutkapoikkipinta-alan laskentaa/-määrittystä varten tarkoitettujen ohjelmistojen avulla sekä ns. vertailumittauksilla merellisessä ympäristössä. Nämä mittaukset vaativat seurantatutkan, jollaista ei aina ole käytettävissä. Lisäksi vertailumittaukset ovat kalliita ja työläitä toteuttaa. Vertailumittauksista lisää tämän dokumentin loppuosassa.

## 2 Vaatimukset tutkasoppien RCS-arvoille sekä laskentaperiaatteen reunaehdot

### 2.1 Laskenta

Viitoissa ja poijuissa käytettävien tutkaheijastimien RCS-laskenta tulee suorittaa geometrista optiikkaa, fysikaalista optiikkaa tai niiden yhdistelmää hyödyntäviä laskentaohjelmistoja. Ohjelmistojen on huomioitava moninkertaiset heijastukset. Tällaisia ohjelmistoja ovat mm. VTT:n CAST-ohjelmisto, englantilainen EPSILON-ohjelmisto ja yhdysvaltalainen RadBase-ohjelmisto. Ohjelmistoille annetaan lähtötietoina soppimalleista tehty tarkka CAD-kuva ja laskentaparametritiedot mm. tutkan taajuus, saapuvan ja siroavan tutka-aallon suunnat, polarisaatiot, moninkertaisten heijastuksien lukumäärä, mahdollinen diffraktiovaikutuksen huomiointi sekä merenpinnan l. Sea State -asetukset (optio).

Laskennat tulee tehdä tarkasteltavan kohteen kaukokentässä. Kaukokentän katsotaan alkavan etäisyydellä  $R_k$ , joka saadaan kaavasta:

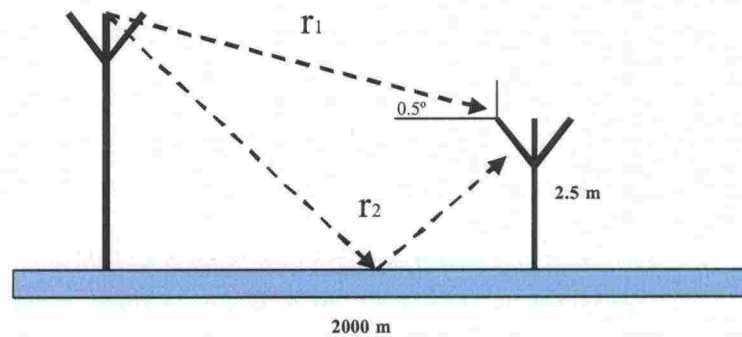
$$R_k = 2 D^2 / \lambda,$$

missä  $D$  = antennielementin fyysinen mitta (halkaisija tai korkeus)

$\lambda$  = käytettävän taajuuden aallonpituus

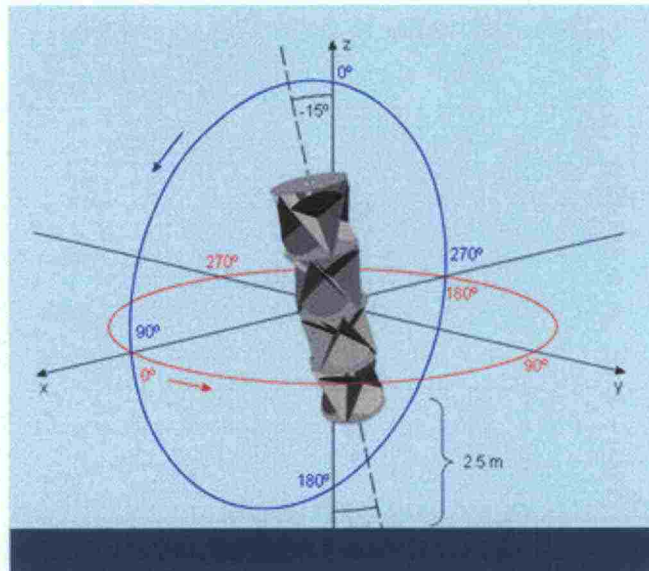
Tarkastelussa tutkitaan monostaattista tapausta, jossa lähetin ja vastaanotin sijaitsevat samassa paikassa. Tutkaheijastinmalleille tulee laskea sirontarasterit kuvan 3 osoittamalla tavalla.

Tutkalähteen ja tutkaheijastimen välinen etäisyys on 2000 m. Heijastimen korkeus pienten tutkaheijastimien (halkaisija on alle 32 cm) tapauksessa tulee olla 2,5 m ja tasoaallon kallistuskulma vastaavasti  $0,5^\circ$ .



Kuva 2. Vedenpintavaikutuksen laskennassa käytettävä heijastusgeometria.

Analyysissä tutkitaan sekä vaaka- että pystypolarisaatiotapaukset. Vaakapolarisaatiolle aallokon vaikutus on pienempi kuin pystypolarisaatiolle. Laskennat eri heijastimille suoritetaan sekä vedenpinnan kanssa että ilman. Tapauksissa, joissa vedenpintaa ei oteta huomioon, tasoaalto saapuu  $90^\circ$  kulmassa tutkaheijastimeen. Vedenpinnan tapauksessa tasoaallon saapuu kohteeseen hiukan vinosti,  $89.5^\circ$  kulmassa, jolloin tulevan aallon heijastus vedenpinnasta ennen tutkaheijastinta voidaan mallintaa. Diffraktiovaikutuksen laskennassa voidaan käyttää esimerkiksi fysiikaalista diffraktiomenetelmää (FDM). Tutkaheijastimen laskentakorkeudet merenpinnasta pienten (halkaisijaltaan 32 cm asti) heijastimien tapauksessa on 2,5 m ja 4 m Isojen heijastimien (halkaisijaltaan yli 32 cm) tapauksessa laskentakorkeus on 4 m ja 6 m (kuva 2). Etäisyys tasoaaltolähteen ja soppiryhmän välillä tulee asettaa 2 km:iin. Laskennassa käytettävät parametrit on esitetty taulukossa 1.



Kuva 3. Laskennan sirontarasterit;  $\theta = 40 \dots 140^\circ$  ja  $\phi = 0 \dots 360^\circ$ .

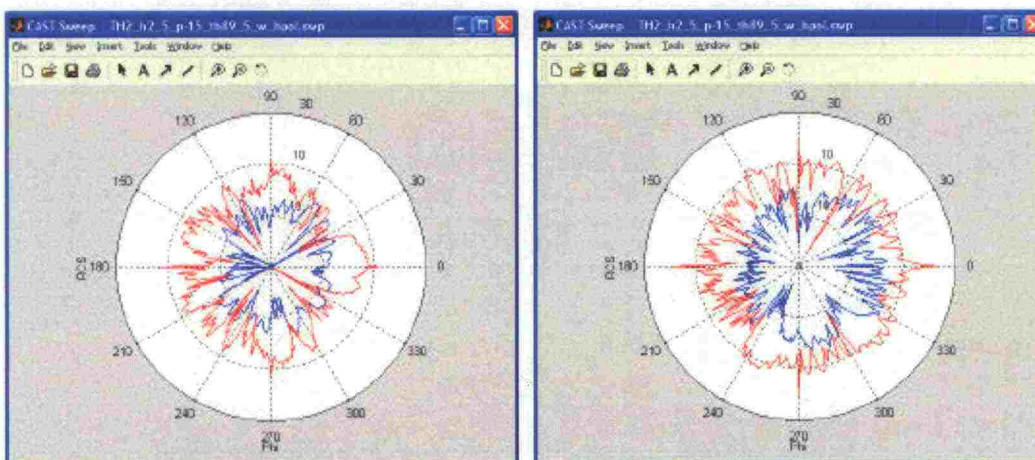


**Taulukko 1.** Laskennassa käytettävät parametrit.

Parametri	Arvoalue
Taajuus	3 ja 9 GHz
Theta-kulma (kiertää kohteen ylhäältä alas)	Vaakapyyhkäisyssä 90° Pystypyyhkäisyssä 0° - 360° Koko avaruudelle suoritettussa pyyhkäisyssä 0° - 180°
Phi-kulma (kiertää kohteen vastapäivään horisontaalitasossa)	Vaakapyyhkäisyssä 0° -360° Pystypyyhkäisyssä 0° Koko avaruudelle suoritettussa pyyhkäisyssä 0° - 360°
Polarisaatio	Vaaka- ja pystypolarisaatio
Alareunan etäisyys merenpinnasta	2,5, 4 tai 6 m
Etäisyys kohteesta	2 km

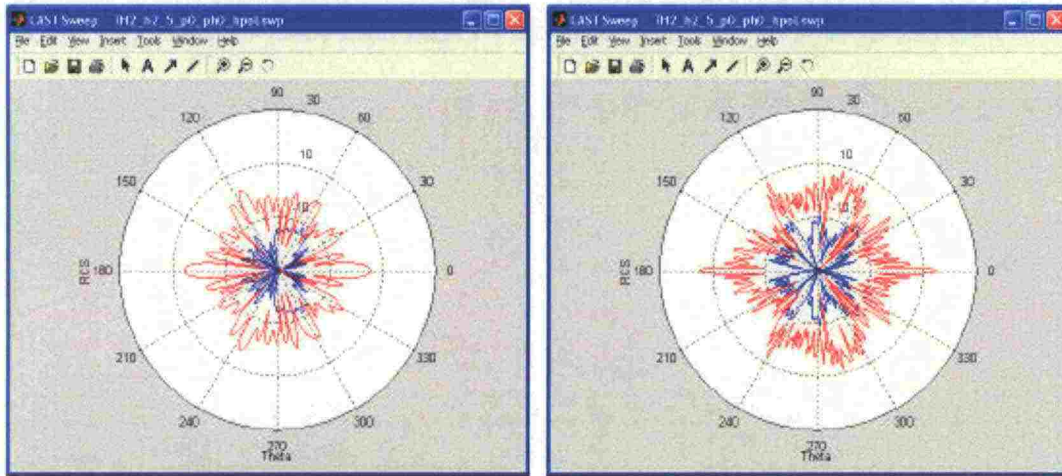
### 2.1.1 Sirontarasterit ja -kuviot

Sirontarasterit ja -kuviot lasketaan 3 ja 9 GHz:n taajuuksille. Sirontakuviot lasketaan soppien ollessa pystyasennossa eli 90° vaakapyyhkäisykulmalla (kallistuskulma siis 0°). Sirontakuvio on vain perustapaus ja antaa informaation tästä kulmasta, mutta on tarkoituksenmukainen ns. nopean vertailuun ja kiinteisiin turvalaitteisiin annettava lisätieto. Sirontakuvio voidaan esittää polaarimuotoisena *kuvan 4* mukaisesti.

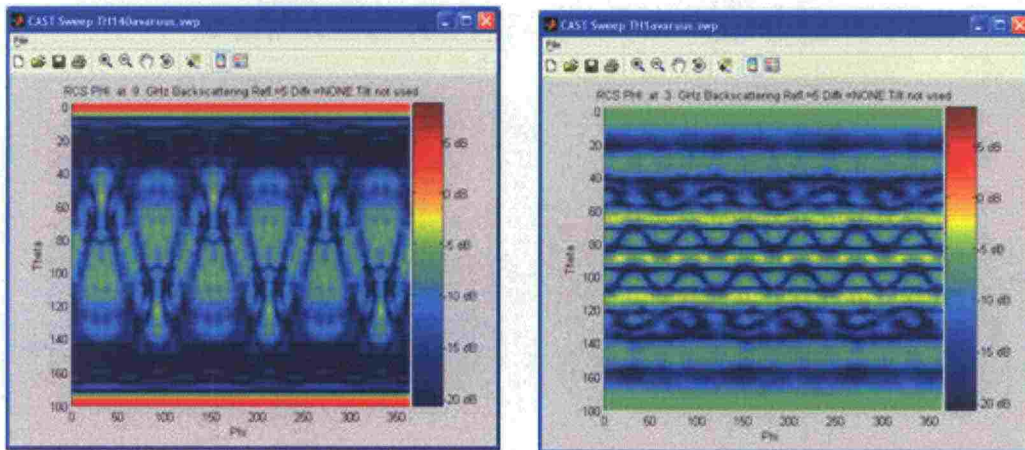


*Kuva 4.* Esimerkkikuva sirontakuvion esitystavasta (vaakapyyhkäisy).

Sirontarastereiden minimi- ja maksimiarvot tulee asettaa siten, että heijastimen suurin yksittäinen arvo asettaa maksimirajan ja minimiarvo on 30 dB maksimiarvon alle. Rastereissa rivit edustavat eri ?-avaruuskulmia. Theta-kulma kiertää tutkaheijastimen ylhäältä alas siten, että suunta suoraan ylhäältä vastaa 0°, vaakataso 90° ja suoraan alhaalta 180°. Phi-kulma määritetään 0° – 360° ja sen kiertosuunta on oltava vastapäivään.



Kuva 5. Esimerkkikuva sirontakuvion esitystavasta (pystyppyyhkäisy)

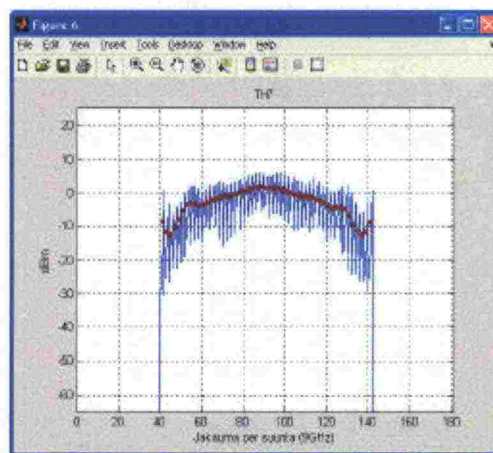


Kuva 6. Esimerkkikuvia sirontarastereiden esitystavasta (rasteri)

Sirontarastereiden RCS-tasot tulee esittää skaalattuna selkeästi esimerkiksi siten, että kuvassa 5 dB:n muutos vastaa väripalkissa värin vaihtoa.

Viimeisenä vaiheena laskennassa tulee selvittää sirontatasojen vaihtelua eri tutkamalleilla. Vertailua varten edellisessä luvussa esitetyille sirontarastereille tulee muodostaa käyräesitykset, joissa takaisinsironta-arvot on lajiteltu pystykulmakohtaisesti. Kuviin tulee esittää selkeästi (tässä punaisella) keskimääräiset tutkapoikkipinta-alat eri pystykulmilla helpottamaan tulosten tarkastelua. Analysoinnissa tulee keskittyä pystykulma-alueelle  $40^\circ - 140^\circ$ .





Kuva 7. Esitysmalli pystykulmakohtaisista takaisinsironta-arvoista.

## 2.2 VERTAILUMITTAUKSET

Tunnettuun referenssimaaliin perustuva vertailumittaus/analysointi on välttämätöntä ilmakehässä tapahtuvan sironnan ja absorption aiheuttaman vaimennuksen huomioon ottamiseksi luotettavasti mittaustuloksissa. Vertailumittauksissa menetelmänä voidaan käyttää tutkajärjestelmän (seurantatutka) vastaanotettuun tehoon reagoivaa automaattisen vahvistuksen säätöjännitteen (Automatic Gain Control, AGC) mittaamista keilaavasta tutkajärjestelmästä. Mittaustulosten analysoinnissa muodostetaan yhteys kalibroidun vertailukohteen ja mitatun AGC -jännitteen välille ja saadaan näin kohteen seurantasuunta riippuvainen tutkapinta-ala.

Vertailumittauksissa ensimmäisessä vaiheessa muodostetaan tutkan kalibroitinkäyrä, johon voidaan esimerkiksi käyttää tutkan valmistajan terminaaliohjelmaa. Tässä järjestelmälle syötetään pienin askelin simuloitua tehoa ( $x \text{ dB/askel}$ )=simuloitu maali), jonka pohjalta määritetään mitatut jännitearvot järjestelmän dynaamisen alueen sisältä. Arvoista piirretään myöhemmin käytettävä kalibroitisuora.

Toisessa vaiheessa tutkalla mitataan vertailukohde (ks. kuva 8) täsmälleen samalta etäisyydeltä kuin mitattava tutkasoppikin tullaan mittaamaan. Tässä mitatuille jännitearvoille saadaan etäisyysriippuva jännitearvo. Näiden tulosten ja ensimmäisen kalibroitisuuden avulla saadaan etäisyys/dB-kuvaaja, johon varsinaisen mitattavan kohteen (sopen) arvoja voidaan verrata.

Varsinainen sopen RCS-arvo saadaan, kun saatu mittaustuloksen arvo vähennetään tai lisätään tarkastelusuoran arvosta saman etäisyyskohdan leikkauksesta. Lopuksi saatu erotus lisätään yksinkertaisesti kalibroidun ja lasketun vertailukappaleen RCS-arvoon (3 GHz:n taajuudella -9,0 dB ja 9 GHz:n taajuudella -9,1 dB. ks seuraava kappale).

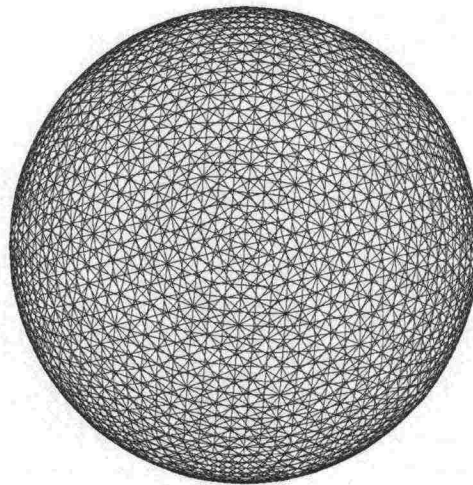


#### *Huomioita vertailumaalista / kohteesta*

Vertailumittauksissa suoritettavia mittauksia varten osana selvityshanketta tulee selvittää referenssitulokset mittausjärjestelmän kalibroinnissa käytettävälle kohteelle. Kalibroinnissa käytetään palloa, jonka tutkapoikkipinta-ala voidaan analyttisesti ratkaista. Pallon halkaisija on 40 cm. Referenssilaskennoissa käytetty malli on esitetty kuvassa 6. Se koostuu 5120 tasakolmiosta. Geometrisen optiikan avulla pallon tutkapoikkipinta-ala voidaan laskea yksinkertaisella kaavalla, kun pallon säde oletetaan olevan aallonpituuksina suuri. Kaava on

$$RCS = \pi \cdot r^2,$$

missä  $r$  on pallon säde aallonpituuksina. Koska kalibroinnissa käytettävän pallon säde on 20 cm, on sen tutkapoikkipinta-ala 3 GHz:n taajuudella  $-9,0 \text{ dBm}^2$  ja 9 GHz:n taajuudella  $-9,1 \text{ dBm}^2$ .



*Kuva 8. Laskentamalli kalibroinnissa käytettävälle pallomallille.*

#### *Huomioita AGC –piiristä*

Tutkalla signaalitaso täytyy pitää vahvistimen dynaamisella toiminta-alueella, mikä onnistuu automaattisen vahvistuksen säädön (AGC) avulla. Välitaajuusvahvistinta säätämällä AGC-piiri pystyy pitämään signaalitason vaaditulla tasolla.

Seurantatutkassa AGC:lla saadaan servojärjestelmää ohjaava virhesignaali riippumattomaksi signaaliampplitudin vaihtelusta eli kohteen koko etäisyys tai tutkapoikkipinta-alan vaihtelut eivät vaikuta tarkkuuteen. AGC-piiri reagoi välittömästi tutkapoikkipinta-alan vaihteluun lisäämällä tai vähentämällä ohjausjännitettä jänniteohjattuun välitaajuusvahvistimeen. AGC-piiri reagoi suoraan vastaanotettuun tehoon verrannollisesti, josta säätöjännitettä mittaamalla saadaan tarvittava informaatio kohteesta (vertailumittaus). Mittausympäristöä valittaessa on kuitenkin huomioitava, ettei mittaussektorilla ole voimakkaita kaikuja aiheuttavia maaleja tai häiriölähteitä, jotka voivat kyllästyä vastaanottimen AGC-piirin (välitaajuusvahvistimen). Järjestelmältä kuluu tietty aika ennen kuin se pääsee

takaisin lineaariselle toiminta-alueelle ja siirtymän aikana vastaanotetut kaikupulssit jäävät "kyllästystilan" alle eivätkä tule näin ollen havaituiksi spektristä.

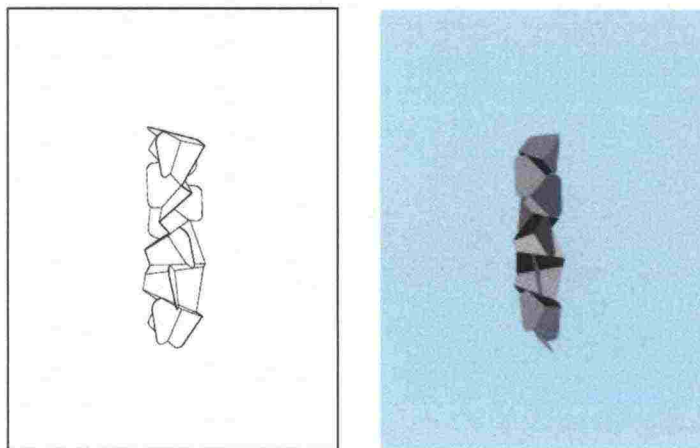
Käytännön mittauksissa kohteen etäisyys on valittava siten, että kohteesta saatava kaiku on riittävän suuri, jotta pysytään mittausjärjestelmän käyttöalueella. Toisaalta kohteen oltava riittävän kaukana, jotta ollaan kaukokentän alueella ja AGC-piirin toiminta on vakaa ilman kyllästysvaaraa. Mittaustuloksien kulmariippuvia jännitearvoja vastaava dB-arvo katsotaan AGC-kalibrointikäyrästä. Saadut dB-arvot on suoraan verrannollisia kalibrointisuoran mittausetäisyyden kohdalta saatuun dB-arvoon. Tästä suhteesta voidaan ratkaista tarkasteltava tutkapoikkipinta-arvo, joka muunnetaan vastaavaan dBsm-arvoon.

Mittauksessa saadussa raakadatassa saattaa näkyä erittäin lyhyitä mutta korkeita kohinapiikkejä. Tutkajärjestelmässä nämä havaitaan AGC-piirin jälkeen virheilmaisuna eli kohinapiikki on ylittänyt ilmaisukynnyksen. Tässä välitaajuusvahvistin muodostaa pulssin, joka tulkitaan kaikupulssiksi. Jotta virheilmaisujen määrä ei nousisi liian korkeaksi, järjestelmä nostaa ilmaisukynnystä. Järjestelmässä on erityinen virheilmaisujen vakiointipiirre, joka pitää signaalikohinasuhteen vakiona. Oikeat kaikupulssit on selkeästi eroteltavissa kohinapiikeistä. Datan analysoinnissa piikit tulee poistaa esim. mediaanisuodatuksen avulla.

### ***Laskentatuloksen vertailu***

Kun tutkasopen tutkapoikkipinta-alan suuruus tehdään laskemalla voidaan laskentamenetelmän toimivuus todentaa antamalla laskettavaksi kuvassa 7 esitetty kompleksinen heijastin malli. Laskentaa varten toimitetaan mallin CAD-piirustukset DWG-formaatissa. Mallin referenssiarvot on laskettu VTT:n toimesta CAST-ohjelmalla 05/2005.

Mikäli laskennan tulokset eroavat keskiarvoisesti suunnittain yli 2 dBm<sup>2</sup> toisistaan, ei toimittajan laskentamenettelyä voida hyväksyä.



*Kuva 9. Referenssimalli laskentamenetelmän oikeellisuuden määrittämistä varten (kuva VTT/Tietotekniikka 2005)*



-----XXXXXXXXXXXXXXXX-----